

# PENGARUH CARA PEMOTONGAN DAN PENGELASAN GMAW TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS BISALLOY 60

Eka Pambudi R<sup>1)</sup>, Mudjijana<sup>2)</sup>

## ABSTRACT

*The effect of various cuttings on bisalloy 60 material has been investigated. The cuttings consist of shearing machine, laser, gas and quench gas cutting. The material used was 5 mm thick. The physical and mechanical properties of bisalloy 60 after cutting were compared to the base material. The bisalloy 60 with laser cutting and then GMAW welded shows the best ductility.*

## PENDAHULUAN

Dalam proses produksi pembuatan suatu desain, pelat baja kekuatan tinggi mengalami pemotongan sebelum dilas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat fisis dan mekanis baja kekuatan tinggi bisalloy 60 yang mengalami pemotongan laser, pemotongan geser, pemotongan gas oksigen hidrokarbon pendinginan udara luar, dan pemotongan gas oksigen hidrokarbon pendinginan langsung dengan air yang kemudian dilas GMAW ("Gas Metal Arc Welding"). Proses pemotongan dan pengelasan dengan GMAW merupakan proses produksi dengan menggunakan perlakuan panas yang tentunya akan mempengaruhi karakteristik baja bisalloy 60 pada daerah terpengaruh panas.

## TINJAUAN PUSTAKA

Pada waktu ini pemotongan dan pengelasan terhadap bahan baku logam merupakan pelaksanaan pekerjaan amat penting dalam suatu proses produksi. Proses pemotongan yang umum digunakan dalam proses produksi adalah pemotongan dengan mesin geser, pemotongan dengan laser dan pemotongan dengan gas oksigen. Pemotongan dengan mesin geser pada prinsipnya mengenakan gaya geser pada bahan yang dipotong. Pemotongan dengan gas umumnya menggunakan gas oksigen hidrokarbon. Pada permulaan pemotongan, baja dipanaskan lebih dahulu dengan api oksi-asetilen sampai mencapai suhu antara 800 dan 900°C. Kemudian gas oksigen tekanan tinggi disemburkan ke bagian yang dipanaskan tersebut dan terjadilah proses pembakaran yang membentuk oksida besi. Karena titik cair oksida besi lebih rendah, maka oksida tersebut mencair dan terhembus oleh gas pemotong. Pemotongan dengan

sinar laser merupakan proses pemotongan termal dengan intensitas energi tinggi yang memotong logam dengan cara melelehkan atau menguapkan daerah tertentu dengan panas dari sinar laser.

Pengelasan GMAW merupakan proses pengelasan busur elektroda terumpan dengan pelindung gas. Pada pengelasan konstruksi baja, gas pelindung yang sering digunakan adalah CO<sub>2</sub> karena mempunyai harga murah.

Bagian logam induk terpengaruh panas pemotongan maupun pengelasan dikenal dengan daerah HAZ ("heat affected zone"). Pada pengelasan, daerah lasan terdiri dari tiga bagian yaitu logam lasan, daerah HAZ dan logam induk tak terpengaruhi. Lama pendinginan pada daerah temperatur 800°C sampai 500°C dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan, strukturmikro dan sifat mekanis daerah HAZ. Lama pendinginan pada daerah HAZ dirumuskan oleh Rosenthal D. (Kou, 1987) :

$$\left. \frac{dT}{dt} \right|_x = -2\pi k_s U \frac{(T - T_o)^2}{Q} \quad 1)$$

Sedang besar panas yang masuk untuk pengelasan dengan busur listrik dirumuskan (Carry, 1994) :

$$Q = \frac{E \times I}{U} \quad 2)$$

dengan :

- $k_s$  = konduktivitas termal padat, W/m.°C.
- $U$  = kecepatan pengelasan, m/det.
- $T$  = temperatur pengelasan, °C.
- $T_o$  = temperatur benda kerja sebelum dilas, °C.
- $Q$  = panas masuk ke dalam benda kerja, W.
- $E$  = tegangan listrik yang digunakan, V.
- $I$  = arus listrik yang digunakan, A.

<sup>1)</sup> Alumni Jurusan Teknik Mesin (S<sub>1</sub>), Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

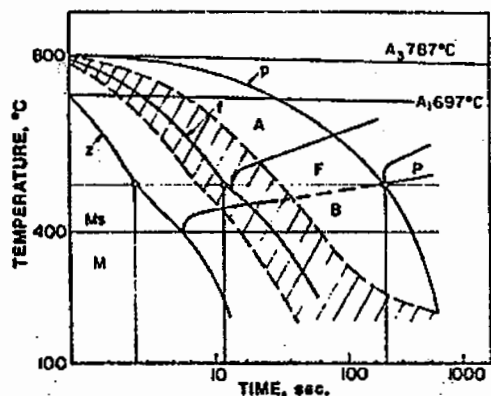
<sup>2)</sup> Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Arus las dapat mempengaruhi bentuk geometri *weld pool*. Bila arus las bertambah, lengkungan batas *pool* pada ujung *trailing* bertambah. Pengaruh kecepatan pengelasan pada bentuk geometri sedikit, sedang pada ukuran *pool* adalah besar (Kovacevic, 1996).

Struktur, kekerasan dan berlangsungnya transformasi pada daerah HAZ dapat dilihat pada diagram transformasi berlanjut (diagram CCT). Berdasar kecepatan pendinginan, perubahan struktur akan terjadi bila didinginkan cepat atau dicelupkan, bainit bawah dan bainit atas akan membentuk struktur antara ( $Z_w$ ) sehingga perubahan struktur dapat dituliskan sebagai berikut :

Martensit (M)  $\rightarrow$  struktur antara ( $Z_w$ )  $\rightarrow$  ferit (F) + perlit (P)

Ketangguhan paling baik didapat bila terbentuk struktur ganda dari martensit dan bainit bawah. Sedangkan bila terjadi bainit atas dan ferit kasar ketangguhan baja menjadi sangat rendah (Wiryosumarto dan Okumura, 1985).



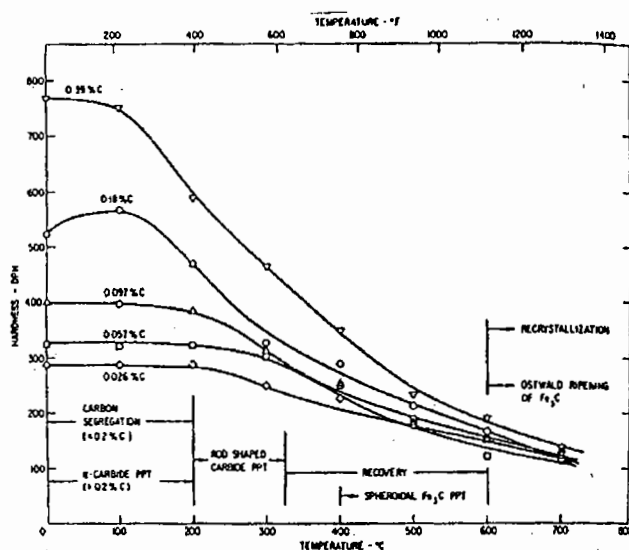
Gambar 1. Kurva transformasi pendinginan kontinyu (CCT) baja T-1 komposisi 0,1-0,2 %C, 1% Mn, 0,35 % Si, 0,65 Cr, 1 % Ni, 0,6 Mo, 0,03 % V, 0,5 % Cu, 0,002 % B. Kurva p, f, dan z menunjukkan kecepatan pendinginan kritis untuk pembentukan perlit (P), ferit (F), dan bainit (B). Daerah yang diarsir menunjukkan daerah kecepatan pendinginan yang baik (Kou, 1987)

Perubahan struktur di atas disebabkan oleh perbedaan sifat mampu-keras baja yang disebabkan adanya perbedaan komposisi kimia dan perbedaan kecepatan pendinginan karena panas pengelasan, pemanasan mula, tebal plat dan lain sebagainya. Semua faktor tersebut merubah besar penggetasan batas las secara rumit sekali.

#### CARA PENELITIAN

Bahan yang dipakai dalam penelitian ini menggunakan baja bisalloy 60 dengan komposisi disajikan pada tabel I. Perlakuan panas baja bisalloy 60 yaitu austenisasi pada temperatur 900°C,

quenching dengan air, tempering pada temperatur 550-600°C (Leslie, 1982) seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian lengkung dan pengujian tarik, kekerasan dan struktur mikro.



Gambar 2. Kekerasan baja karbon rendah yang ditemper selama 1 jam

Tabel I. Komposisi kimia baja bisalloy 60 (Technical Manual Bisalloy Steels Pty Ltd, 1995)

C	P	Mn	Si	S	Ni	Cr	Mo	Al	Ti	B-Sol
0.19	0.025	1.30	0.35	0.008	0.35	0.25	0.25	0.07	0.035	0.002

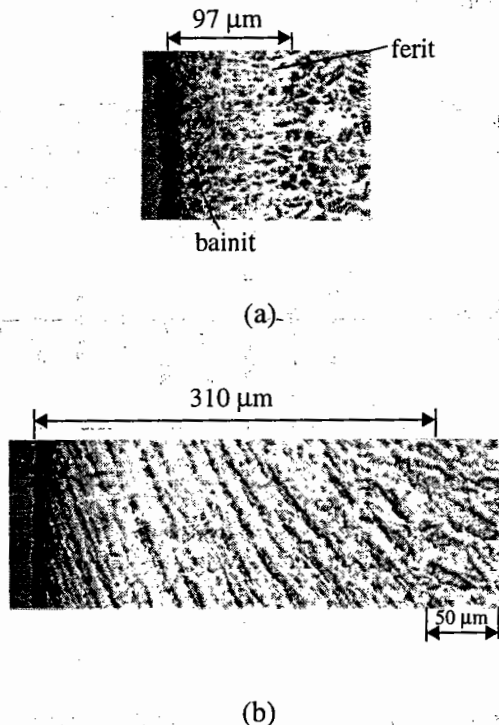
Pemotongan bahan uji dengan sinar laser dilakukan seperti pemotongan pada baja lunak (*mild steel*) untuk ketebalan 5 mm. Pemotongan dengan mesin greser dilakukan seperti pemotongan pada *mild steel* untuk ketebalan 7 mm. Pemotongan dengan gas oksigen, baik pemotongan dengan menggunakan pendinginan air atau tidak, nozel yang digunakan bernomor 00 dengan kecepatan pemotongan  $\pm 8$  mm/dt. Besar aliran air adalah  $\pm 10$  cm<sup>3</sup>/dt. Alur lasan berbentuk tirus tunggal (V) penetrasi penuh tanpa pelat penahan dengan jarak logam dasar terdekat 1 mm. Pengelasan dilakukan dua kali/lapis dengan menggunakan arus listrik 130 A dan tegangan 50 V. Kawat las menggunakan AWS ER80S-D2 dengan diameter 1,2 mm. Pengujian dilakukan dengan mesin tarik universal kapasitas 20000 N, merk Tarno Groki, dengan ukuran benda uji tarik dan lengkung menggunakan standar JIS. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan kekerasan Vickers, kemudian dilakukan pemeriksaan struktur mikro pada daerah bekas pemotongan dan titik-titik tertentu pada daerah lasan dengan ukuran benda uji 5 x 10 x 250 mm.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa baja bisalloy 60 mempunyai tegangan luluh rata-rata 725 MPa, tegangan tarik rata-rata 771 MPa, kekerasan rata-rata 265 HV pada beban 30 kg dan perpanjangan rata-rata 17 % (dalam 0,05 m) dengan bentuk struktur perlit dan ferit.

### Pengaruh pengerjaan pemotongan pada bisalloy 60

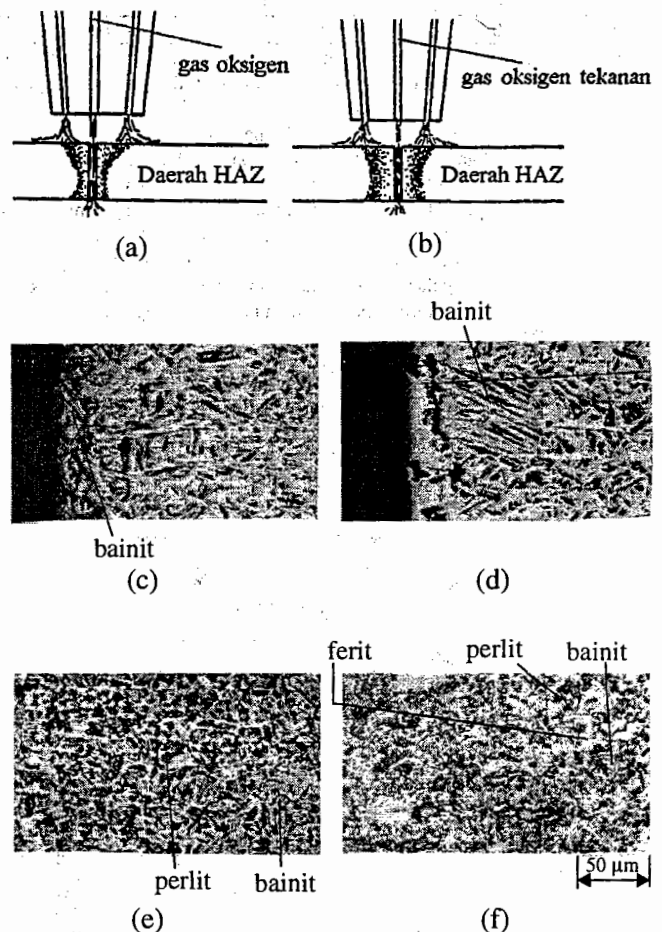
Hasil pengamatan struktur mikro bisalloy 60 setelah dipotong menunjukkan terjadi deformasi pada bekas pemotongan dengan menggunakan mesin geser sejauh  $\pm 310 \mu\text{m}$ , pengaruh pemotongan dengan sinar laser sejauh  $\pm 97 \mu\text{m}$  mengalami rekristalisasi dan terjadi perubahan strukturmikro yang ditunjukkan pada gambar 3. Rekristalisasi terjadi karena adanya tegangan termal dan tumbukan pulsa laser pada daerah tersebut. Kecepatan pemanasan dan pendinginan yang tinggi menghasilkan pembentukan tegangan termal karena adanya perbedaan spesifik volume dan koefisien ekspansi dari fasa yang ada (Rykalin, dkk, 1978).



Gambar 3. (a) Pengaruh pemotongan laser, (b) Deformasi yang disebabkan oleh mesin geser (258x),

Penyinaran laser menimbulkan perubahan konsentrasi kandungan karbon maupun unsur paduan lainnya pada daerah terpengaruh laser yang disebabkan radiasi laser intensitas tinggi. Perubahan ini disebabkan perbedaan tekanan uap antara elemen paduan dan logam induk. Sebagian besar elemen paduan mempunyai energi ikat dalam paduan per atom lebih rendah dibanding dengan ikatan energi dari logam dasar (Rykalin, dkk, 1978).

Bekas pemotongan dengan gas menunjukkan terjadi perubahan struktur pada bagian di bawah semburan pembakaran gas hidrokarbon. Pemanasan hidrokarbon di atas temperatur eutektoid menyebabkan terjadi transformasi ke austenit yang tidak homogen. Karena pendinginan yang cepat maka austenit yang terbentuk akan bertransformasi menjadi bainit, ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Sket pengaruh pemotongan gas terhadap daerah HAZ skala 2:1 (a) pendinginan udara, (b) pendinginan langsung dengan air. Struktur mikro daerah HAZ pemotongan gas pendinginan udara (c) ujung pemotongan, (e) agak jauh dari ujung pemotongan (258x). Struktur mikro daerah HAZ pemotongan gas pendinginan langsung dengan air (d) ujung pemotongan, (f) agak jauh dari ujung pemotongan (258x)

## Pengaruh pengelasan pada masing-masing bekas pemotongan baja bisalloy 60

Kualitas lasan pada pengujian ini dapat dilihat pada hasil (Tabel II) dan (Tabel III). Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan mayoritas (80 %) benda uji hasil pengelasan yang telah dilakukan baik. Kerusakan terjadi karena adanya lubang udara/*blow holes* pada logam las dan adanya beberapa retak (gambar 5) pada kaki manik las saat pengujian lengkung.

Tabel II. Data hasil pengujian lengkung

No.	Tanpa pengerjaan	A	B	C	D
	panjang retak ( $10^{-3}$ m)	panjang retak ( $10^{-3}$ m)	panjang retak ( $10^{-3}$ m)	panjang retak ( $10^{-3}$ m)	panjang retak ( $10^{-3}$ m)
1	0	0	4,8 *	25,5 **	0
2	0	0	0	4,65 **	0
3	0	0	0	0	0

Keterangan : kerusakan dari lasan yang lebih besar dari 1/8 inch (3,125 mm) pada setiap arah menunjukkan kegagalan pengelasan (Brumbaugh, 1973)

\* gagal karena *blow holes* pada logam las

\*\* gagal karena retak pada kaki manik lasan

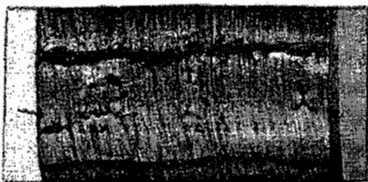
A pengelasan pada bahan yang dipotong dengan sinar laser

B pengelasan pada bahan yang dipotong dengan mesin geser

C pengelasan pada bahan yang dipotong dengan gas oksigen hidrokarbon dengan pendinginan udara luar

D pengelasan pada bahan yang dipotong dengan gas oksigen hidrokarbon pendinginan langsung dengan air

Gas yang menyebabkan *blow holes* yaitu adanya reaksi kimia di dalam logam las antara karbon dalam besi dengan air ( $H_2O$ ) yang membentuk gas CO dalam logam cair pada temperatur tinggi.



(a)

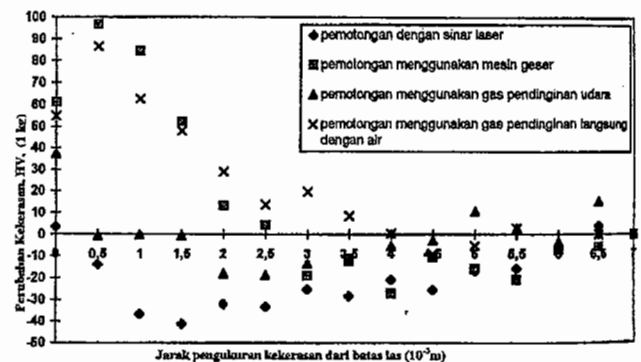


(b)

Gambar 5. Kerusakan saat pengujian lengkung  
(a) cacat *blow holes*,  
(b) retakan pada kaki manik lasan

Kegagalan berupa retakan pada kaki manik lasan terjadi pada logam pasangannya, bukan pada logam yang diuji. Retak ini dapat terjadi karena adanya tegangan sisa pengaruh tegangan termal dan perbedaan sifat mekanis dan komposisi antara logam induk dengan logam las yang digunakan. Juga karena rancangan alur lasan dimana untuk logam lawan membentuk sudut  $60^\circ$  (dari arah vertikal) sehingga pada logam induk sebenarnya mengalami regangan yang lebih besar dibandingkan dengan logam las terutama pada bagian batas las. Pada batas las mudahnya terjadi inklusi hidrogen karena terperangkap dalam permukaan logam dasar sebelum dilas.

Perbedaan cara pemotongan memberikan perbedaan distribusi kekerasan seperti ditunjukkan pada gambar 6. Pada daerah HAZ  $6 \times 10^3$  m dari batas las pemotongan dengan sinar laser, mesin geser, gas tidak memberikan perbedaan nilai kekerasan. Pada jarak  $0,5 \times 10^3$  m dari batas las pemotongan dengan mesin geser dan gas pendinginan langsung dengan air memberikan perbedaan nilai kekerasan yang menyolok. Hal ini disebabkan pengaruh deformasi dan laju pendinginan.



Gambar 6. Grafik perbedaan perubahan kekerasan daerah pengaruh panas las dengan logam dasar untuk tiap jenis pemotongan pada baja bisalloy 60

Hasil pengamatan secara makro menunjukkan bagian bekas pemotongan sebagian ikut meleleh dan melebur (*fusion*) dengan logam las. Untuk tiap pemotongan menunjukkan bentuk makro berbeda pada daerah pengaruh pemotongan setelah dilas. Perbedaan tersebut disebabkan perbedaan cara pemotongan pada bisalloy 60 sebelum dilas.

Hasil pengujian tarik menunjukkan pada benda uji dengan pemotongan dengan sinar laser mampu mempertahankan keuletannya. Tegangan luluh dapat diketahui dengan jelas pada saat pengujian tarik (Tabel III). Persamaan kecepatan pendinginan untuk lasan (Pers. 1) menunjukkan bahwa masukan panas dan temperatur *preheating* tinggi pada pengelasan pertama menurunkan kecepatan pendinginan setelah pengelasan kedua. Pendinginan lambat akan menuju ke arah penambahan pembentukan fasa ferit yang mendorong atom karbon ke batas fasa ferit sehingga menjadi bainit.

Tabel III. Data hasil pengujian tarik lasan baja bisalloy 60

No.	A		B	C	D
	$\sigma_{luluh}$ (MPa)	$\sigma_{tarik}$ (MPa)	$\sigma_{tarik}$ (MPa)	$\sigma_{tarik}$ (MPa)	$\sigma_{tarik}$ (MPa)
1	717	738	677*	725	683
2	721	732	674*	801	660
3	731	752	685	682	667
rata-rata	723	741	679	736	670

Keterangan : \* patah pada logam las karena *blow holes* pada logam las

Bekas pemotongan laser merubah distribusi elemen paduan dalam besi. Pemanasan oleh las memberikan energi pada elemen paduan untuk bergetar dan memungkinkan paduan-paduan tersebut untuk berdifusi kembali dan terjadi pengaturan distribusi komposisi mendekati distribusi komposisi semula, yang menghambat terjadinya segregasi karbid ke batas ferit dan mempertahankan keuletannya.

Bentuk struktur *weld pool* pada logam dasar sangat dipengaruhi oleh pemotongan yang telah digunakan seperti ditunjukkan pada gambar 7,8,9,10. Pemotongan dengan menggunakan mesin geser menunjukkan adanya garis-garis pertumbuhan butir tidak sempurna. Butir-butir halus dan bainit ditunjukkan pada *weld pool* bekas pemotongan dengan gas pendinginan udara luar. Pembentukan butir tersebut disebabkan adanya butir-butir halus yang terbentuk saat pemotongan dan semakin padat setelah dilakukan pengelasan. Pada pemotongan dengan gas pendinginan air menunjukkan *weld pool* butiran kasar dan bainit.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil-hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut :

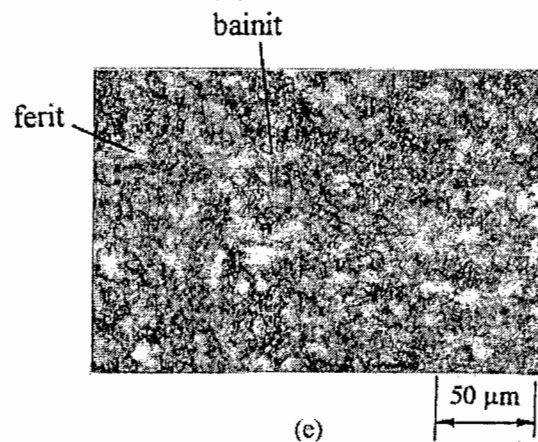
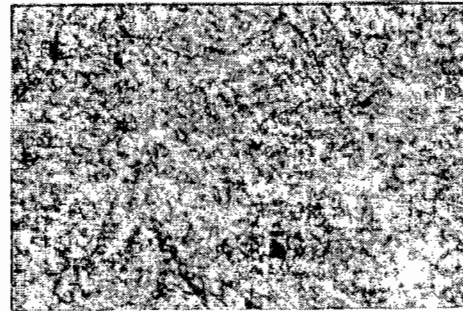
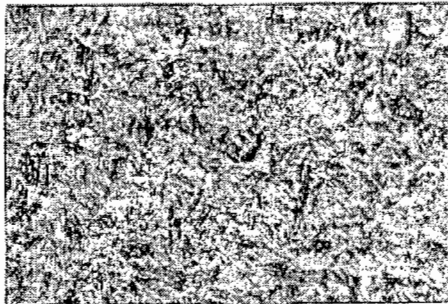
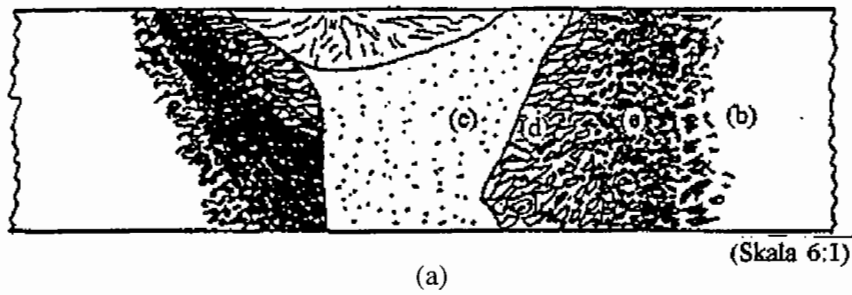
1. Pengelasan pada pemotongan dengan sinar laser mampu mempertahankan keuletan pada daerah terpengaruh panas dengan sedikit penurunan kekuatan tarik pada bahan dasar.
2. Pengaruh pemotongan bahan bisalloy 60 dan proses termal pada pengelasan menyebabkan terbentuknya bainit pada batas ferit yang menurunkan keuletan.
3. Perlu diteliti lebih lanjut pengaruh pengelasan dengan prosedur pengelasan serta masukan panas berbeda sebagai variabel untuk mengetahui kecepatan pendinginan optimum sehingga mampu mempertahankan keuletan serta kekuatan tarik untuk masing-masing pemotongan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua staf Dosen, laboran, dan karyawan Jurusan Teknik Mesin FT UGM, Pimpinan dan staf karyawan PT INKA, semua pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

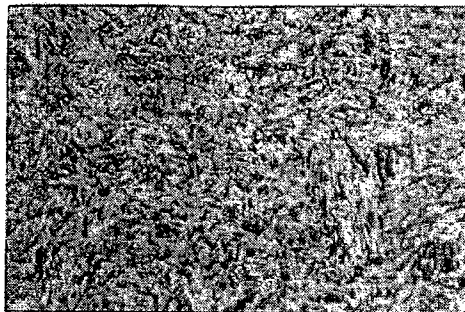
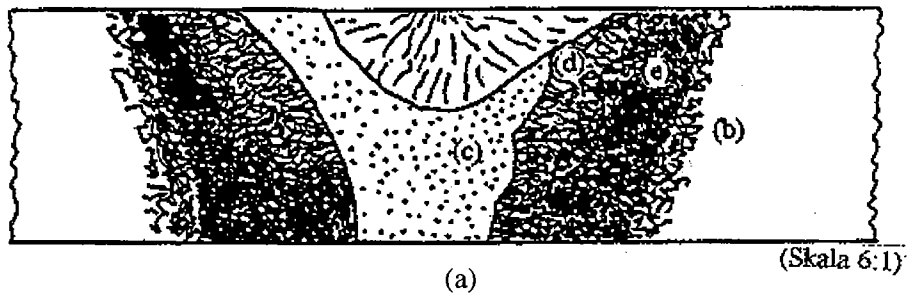
## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1995, **Technical Manual**, Bisalloy Steel Pty Ltd, Australia
- Brumbaugh J.E., 1973, **Welders Guide**, 2<sup>nd</sup> edition, Howard W. Sams & Co., Indianapolis, USA
- Cary, H.B. , 1994, **Modern Welding Technology**, 3<sup>th</sup> edition, Regents/Prentice Hall, New Jersey, USA
- Kou, S. , 1987, **Welding Metallurgy**, John Willey & Sons, Inc., Canada
- Kovacevic R., Cao Z.N., Zhang Y.M., 1996, **Role of Welding Parameter in Determining the Geometrical Appearance of Weld Pool**, ASME Journal of Engineering Materials and Technology, Vol 118, hal 589-596
- Leslie C.W., 1982, **The Physical Metallurgy of Steel**, Mc Graw-Hill
- Rykalın, N. , Uglov A., Kokora A., 1978, **Laser Machining and Welding**, English Translation, MIR Publisher, Moscow, USSR
- Wiryosumarto H., Okumura T. , 1985, **Teknologi Pengelasan Logam**, Pradnya Paramita, Jakarta

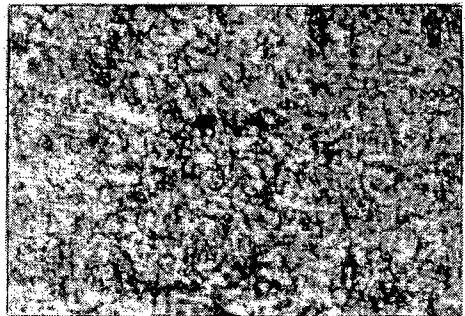


Gambar 7 (a) Sket pengaruh pemotongan laser pada daerah HAZ lasan baja bisalloy 60 yang telah diratakan dengan gerinda (Skala 6:1), (b) struktur mikro logam dasar baja bisalloy 60 (258x), (c) Struktur mikro logam las (258x), (d) daerah HAZ dengan pembesaran butir (258x), (e) penghalusan butir dan terjadinya segregasi partikel karbida ke batas butir ferit membentuk struktur bainit (258x). Arus las 130 A, 50 V, kecepatan kawat las 3-13 m/mnt.

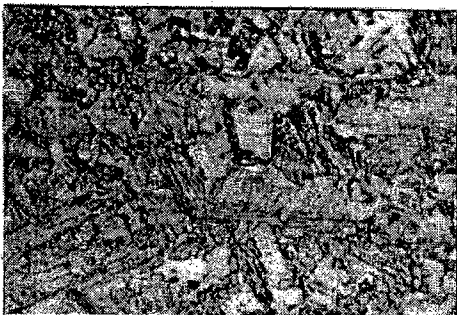




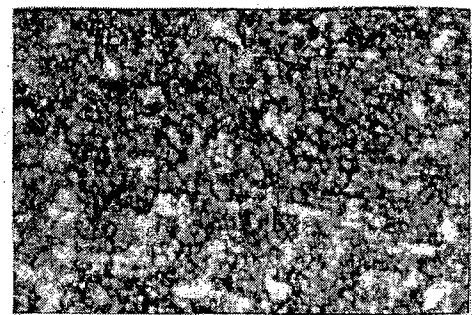
(b)



(c)



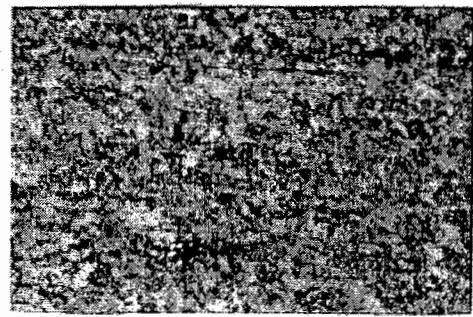
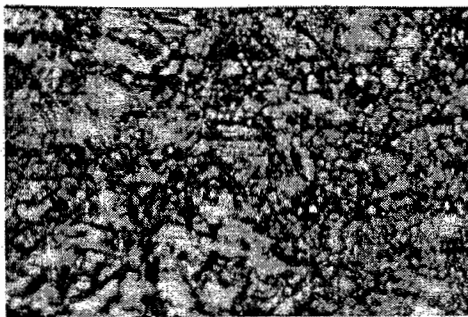
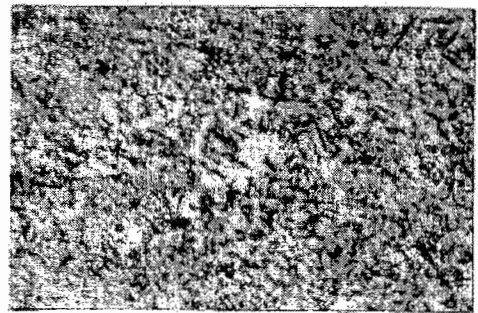
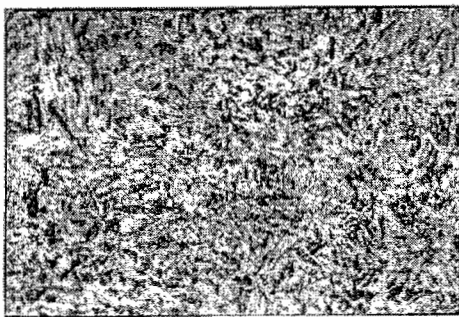
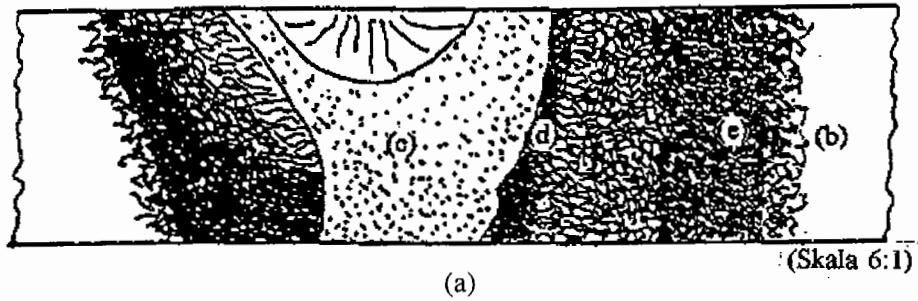
(d)



(e)

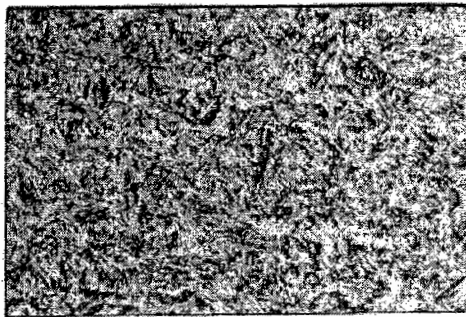
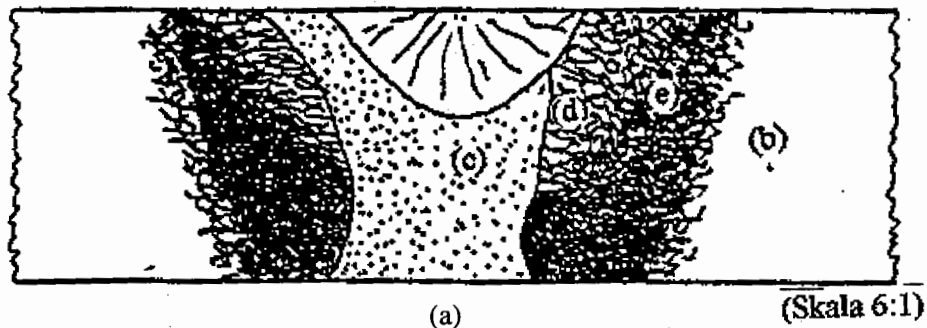
50  $\mu\text{m}$

Gambar 8 (a) Sket pengaruh pemotongan mesin geser pada daerah HAZ lasan baja bisalloy 60 yang telah diratakan dengan gerinda (Skala 6:1), (b) struktur mikro logam dasar baja bisalloy 60 (258x), (c) Struktur mikro logam las (258x), (d) daerah HAZ dengan pembesaran butir (258x), (e) penghalusan butir dan terjadinya segregasi partikel karbida ke batas butir ferit membentuk struktur bainit (258x). Arus las 130 A, 50 V, kecepatan kawat las 3-13 m/mnt.

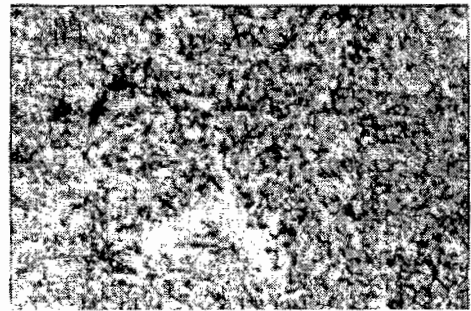


Gambar 9 (a) Sket pengaruh pemotongan gas pendinginan udara luar pada daerah HAZ lasan baja bisalloy 60 yang telah diratakan dengan gerinda (Skala 6:1), (b) struktur mikro logam dasar baja bisalloy 60 (258x), (c) Struktur mikro logam las (258x), (d) daerah HAZ dengan pembesaran butir (258x), (e) penghalusan butir dan terjadinya segregasi partikel karbida ke batas butir ferit membentuk struktur bainit (258x). Arus las 130 A, 50 V, kecepatan kawat las 3-13 m/mnt.

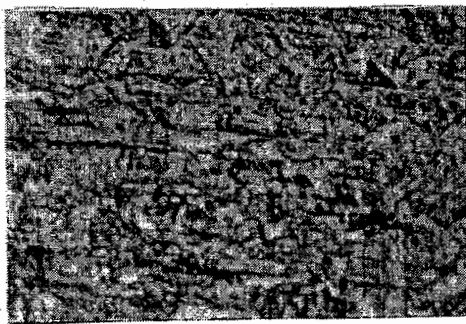




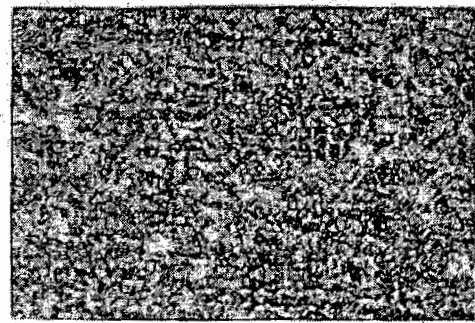
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 10 (a) Sket pengaruh pemotongan gas pendinginan langsung dengan air pada daerah HAZ baja bisalloy 60 yang telah diratakan dengan gerinda (Skala 6:1), (b) struktur mikro logam dasar baja bisalloy 60 (258x), (c) Struktur mikro logam las (258x), (d) daerah HAZ dengan pembesaran butir (258x), (e) penghalusan butir dan terjadinya segregasi partikel karbida ke batas butir ferit membentuk struktur bainit (258x). Arus las 130 A, 50 V, kecepatan kawat las 3-13 m/mnt.